

Шепелевич Николай Иосифович, канд. техн. наук, доцент,
заведующий научно-исследовательской лабораторией,
РУП «Институт БелНИИС», г. Минск (Беларусь)
Коноплицкий Алексей Леонидович, магистр технических наук,
научный сотрудник, РУП «Институт БелНИИС», г. Минск
(Беларусь)

Nikolai Shepelevich, PhD in Engineering Science, associate professor,
chief of the scientific-research laboratory, "Institute BelNIIS",
RUE, Minsk (Belarus)

Aleksey Konopliitskiy, Master of Engineering, research assistant,
"Institute BelNIIS", RUE, Minsk (Belarus)

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО- НАПРЯЖЕННЫХ ШПАЛ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ЕВРОПЕЙСКИХ НОРМ

RESEARCH OF LOAD BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE PRETENSIONED SLEEPERS AGAINST THE REQUIREMENTS OF EUROPEAN NORMS

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований трещиностойкости и несущей способности железобетонных предварительно-напряженных шпал для железных дорог колеи 1520 мм, армированных высокопрочной стержневой арматурой класса St1350/1570 диаметром 9,6 мм и 10,5 мм (по четыре стержня на шпалу).

Цель исследований — разработка конструктивного решения шпал, обеспечивающего выполнение требований европейских норм по эксплуатационной надежности.

Конструкция подрельсовых площадок шпалы запроектирована под установку шурупно-дюбельного крепления типа «FOSSLOH (W)» с заглублением в бетон на 20 мм. Толщина подрельсовой площадки на уровне центра рельса составила 200 мм. Требования ГОСТ 10629-88 по трещиностойкости обеспечиваются при армировании шпал высокопрочной стержневой арматурой класса St1350/1570 диаметром 9,6 мм. Других требований по испытанию шпал на нагружении в ГОСТ 10629-88, а затем и в СТБ 1077-98 не предъявлялось.

Для обеспечения эксплуатационной надежности шпал в EN 13230-1 установлен ряд дополнительных требований к их прочностным характеристикам,

в том числе требования по закрытию трещин и сопротивляемости ударным нагрузкам их подрельсовых сечений шпал.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что требования EN 13230-1 по сопротивляемости ударным нагрузкам при коэффициенте безопасности $k_{2s} = 2,5$ обеспечиваются только при армировании шпал стержневой арматурой класса St1350/1570 диаметром 10,5 мм. При этом дополнительно применено косвенное армирование подрельсовых площадок с использованием проволоки класса Bp-I диаметром 3 мм, свитой в спираль – спирали одедали на арматурные стержни и закрепляли по торцам шпалы в защитных колпачках.

ABSTRACT

The article presents the results of the experimental research of cracking resistance and bearing capacity of reinforced concrete prestressed sleepers for 1520 mm gauge railways, reinforced with high-strength rod of class St1350/1570 9,6 mm and 10,5 mm in diameter (four cores for a sleeper).

Research objective – the elaboration of structural solutions for sleepers that meet the requirements of european norms on the question of maintainability.

The construction of rail seats of a sleeper is designed for the installation of the screw and dowel clamp kind of «FOSSLOH (W)» with embedment into concrete for 20 mm. The depth of a rail seat at the level of a sleeper center amounted to 200 mm. The requirements of GOST 10629-88 on cracking resistance are met in case of sleepers reinforcing with high-strength rod of class St1350/1570 9,6 mm in diameter. Other requirements on loading test of sleepers were not presented neither in GOST 10629-88, nor in STB 1077-98.

To secure the maintainability of sleepers a range of additional requirements to their mechanical strength characteristics is established in EN 13230-1. The additional requirements include the requirements of crack closure and the resistance of sleepers under-track sections to dynamic pressures.

Theoretical and experimental researches have shown that EN 13230-1 requirements on dynamic pressures resistance with the safety factor $k_{2s} = 2,5$ are met only in case of sleepers reinforcing with reinforcement rod of class St1350/1570 10,5 mm in diameter. Additionally the confinement reinforcement of rail seat with the use of the wire of class Bp-I 3 mm in diameter, encurled in spiral, is applied. The spirals were put on reinforcing irons and were fixed along sleepers butt in safety caps.

Ключевые слова: железобетонные предварительно-напряженные шпалы, стержневое армирование, подрельсовые сечения, прочность, трещиностойкость

Keywords: reinforced concrete prestressed sleepers, core reinforcement, under-track sections, strength, cracking resistance

ВВЕДЕНИЕ

Железобетонные шпалы относятся к конструкциям, в которых при действии расчетных нагрузок не допускается образование трещин. Трещиностойкость подрельсовых и средних сечений шпал обеспечивается с помощью предварительного напряжения арматуры. До последнего времени для армирования шпал применялась высокопрочная проволока класса Вр-II диаметром 3 мм (44 струны) либо четыре стержня класса S1000 диаметром 10 мм. Значения расчетных изгибающих моментов, возникающих в опасных сечениях шпал от воздействия подвижного состава, регламентировались контрольными испытательными нагрузками, значения которых и схемы испытаний были указаны в ГОСТ 10629-88. В процессе серийного производства трещиностойкость шпал контролируют каждую смену путем испытаний нагружением трех контрольных образцов на изгиб по балочной схеме. Других требований по испытанию шпал нагружением в соответствии с ГОСТ 10629-88, а затем и СТБ 1077-98 не предъявлялось [1-2].

Многолетняя практика производства шпал со струнным армированием показала, что при натяжении струнопакета из 44 проволок практически невозможно добиться равных напряжений в отдельных проволоках. При этом достаточно часты случаи проскальзывания струн в плашках или разрыва проволок [3].

На Западе, как правило, шпалы армируют стержневой арматурой (4 – 8 стержней). При этом обычно используется специальная (предназначенная для армирования шпал) высокопрочная арматура [4]. С 2007 года производство высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм налажено в Российской Федерации. В 2012 году ОАО «Дорстрой-монтажтрест» было принято решение об организации производства нового поколения шпал, в том числе удовлетворяющих требованиям европейских норм.

Цель исследований – разработка конструкций железобетонных предварительно-напряженных шпал для железных дорог колеи 1520 мм, армированных эффективной высокопрочной арматурой, в том числе удовлетворяющих требованиям европейских норм проектирования.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ШПАЛ

Основным отличием требований европейских норм от требований ГОСТ, влияющих на конструктивное решение шпал, является то, что помимо трещиностойкости к шпалам предъявляются требования по сопротивлению к действию динамическим и ударным нагрузкам. Для

определения изгибающего момента возникающий в подрельсовом сечении шпалы от действия ударных нагрузок расчетный изгибающий момент (равен 22,5 кН·м) умножается на коэффициенты:

k_1 – при котором обеспечивается закрытие трещин после снятия нагрузки;

k_2 – для определения изгибающего момента от ударных нагрузок.

Согласно EN 13230-1, при статическом испытании подрельсовых площадок значения коэффициентов $k_{1s} = 1,8$; $k_{2s} = 2,5$.

Нормативно-техническая документация на шпалы была разработана РУП «Институт БелНИИС». Шпалы были запроектированы для железнодорожной колеи 1520 мм для укладки на территории Республики Беларусь. Шпалы армированы четырьмя стержнями класса St1350/1570 диаметром 9,6 мм. Для закрепления рельса использованы закладные упорные анкеры, применяемые в традиционных шпалах со струнным армированием. Номинальная толщина шпал на уровне центра подрельсовой площадки – 220 мм.

Производство шпал было налажено на Осиповичском заводе ЖБК ОАО «Дорстроймонтажтрест» на автоматизированной конвейерной линии зарубежного производства (Италия). Шпалы были изготовлены из тяжелого бетона класса $C^{40}/_{45}$ в четырехгнездовых формах. Общий вид технологической линии представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. Общий вид технологической линии по производству шпал

Натяжение арматурных стержней производилось с помощью манипулятора. Арматурные стержни натягивались отдельно (с контро-

лем усилия натяжения) с закреплением на форму. Шпалы проходили тепловлажностную обработку и через 1 сутки после распалубки были испытаны на трещиностойкость подрельсовых и средних сечений в процессе приемо-сдаточного контроля. Причем трещин в подрельсовых и средних сечениях шпал, как правило, не возникало.

С целью поставки шпал в страны Прибалтики была изменена конфигурация подрельсовых площадок под установку шурупно-дюбельного рельсового скрепления типа «FOSSLOF (W)». В этом случае номинальная толщина подрельсовой площадки на уровне центра рельса составила 200 мм. Согласно EN 13230-1 подрельсовые площадки шпал подвергают периодическим испытаниям на закрытие трещин и на сопротивление ударным нагрузкам. Испытания проводят при проверке трещиностойкости данных сечений, при этом статическая испытательная нагрузка умножается на соответствующие коэффициенты: $k_{1S} = 1,8$ и $k_{2S} = 2,5$ [5].

Расчеты показали, что при диаметре арматурных стержней 9,6 мм и расчетном натяжении одного стержня 87,5 кН момент трещинообразования в подрельсовом сечении составляет 25,9 кН·м, а максимальный (разрушающий) момент, воспринимаемый сечением — 42,4 кН·м, что существенно меньше требуемого (56,25 кН·м). Расчет выполнен по методике СНБ 5.03.01 [6] с использованием средних значений прочности бетона и арматуры, полученных по результатам испытаний контрольных образцов заводской лабораторией.

С учетом изложенного, класс бетона увеличили до $C^{50}/_{60}$ и перешли на высокопрочную арматуру класса St1350/1570 диаметром 10,5 мм с временным сопротивлением 1700 МПа. Расчетное значение изгибающего момента, воспринимаемого подрельсовым сечением шпалы, составляет 46,9 МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Подрельсовые площадки шпал испытывали по балочной схеме с расстоянием между опорами 600 мм. Нагрузку прикладывали в виде сосредоточенной силы на уровне центра площадки. Испытания выполнены в заводской лаборатории с использованием прессы (рис. 2). Значения контрольных нагрузок составили: 181,6 кН — при контроле трещиностойкости; 326,9 кН — при испытании на закрытие трещин (путем разгрузки) и 454,0 кН — при контроле на сопротивление удару (разрушающая нагрузка).



Рисунок 2. Внешний вид испытаний подрельсовой площадки

Первоначально было испытано 6 шпал с арматурой диаметром 10,5 мм. Усилие натяжения стержней составляло 90 ± 2 кН (контролировалось прибором перед укладкой бетона). Прочность бетона контрольных кубов на момент испытаний составляла от 98 % до 105 % от проектной.

Испытания выполнены по методике EN 13230-2 [7]. Все образцы выдержали испытания на закрытие трещин, однако при последующем увеличении нагрузки до уровня ≈ 90 % от контрольной по прочности происходил раскол шпалы продольной вертикальной трещиной с продергиванием левой или правой пары арматурных стержней и последующим разрушением подрельсовой площадки (рис.3).

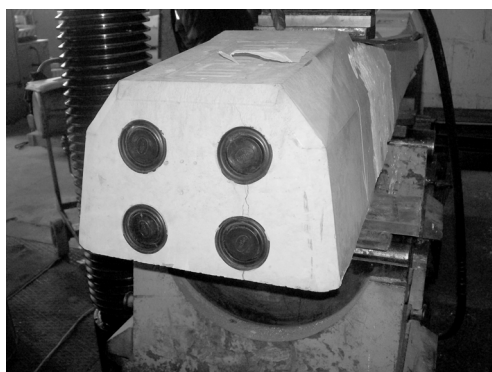


Рисунок 3. Внешний вид торца шпалы после раскола

Для предотвращения продергивания напряженных стержней было выполнено косвенное армирование подрельсовых площадок с использованием проволоки класса Вр-I диаметром 3 мм, свитой в спираль

диаметром 40 мм и длиной 700 мм. Угол наклона спирали составлял 50...55°. Спирали одевали на арматурные стержни и фиксировали в пластмассовых колпачках, установленных по торцам шпал (рис. 4).

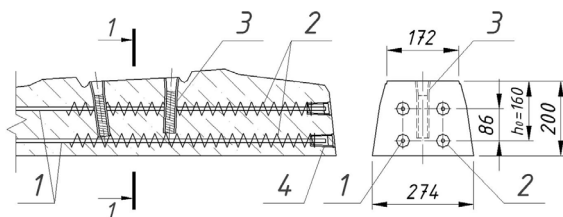


Рисунок 4. Схема косвенного армирования подрельсового сечения шпалы

- 1 – арматурный стержень;
- 2 – спираль;
- 3 – дюбель под шуруп скрепления;
- 4 – защитный колпачок

Следует указать, что данная технологическая линия позволяет изготавливать шпалы точной геометрии. Так, даже по высоте сечений контрольные образцы различались в пределах ± 2 мм, что обеспечивалось точностью дозирования бетона (по весу до 5 кг). При этом расчетная высота среднего подрельсового сечения у всех образцов составляла 160 мм, что обеспечивалось точностью изготовления форм и положением стержней в форме.

Повторные результаты испытаний шести образцов показали, что все они выдержали контрольные нагрузки. При этом значения разрушающей нагрузки находились в пределах от 460 кН до 478 кН или от 101,5 % до 105,2 % от контрольной. Причем разрушение подрельсовых сечений происходило «по бетону» сжатой зоны.



Рисунок 5. Разрушение подрельсовой площадки шпалы

Так, при нагрузке, близкой к разрушающей, сначала возникала горизонтальная трещина, которая начиналась с углубления подрельсовой площадки и распространялась до центра сечения (рис. 5), а затем происходил выкол бетона сжатой зоны. При этом продергивания предварительно напряженных стержней не наблюдалось. Прочность бетона на момент испытаний составляла от 95 % до 103 % от проектной.

При расчете подрельсовых сечений на прочность с использованием фактических прочностных характеристик бетона и арматуры результаты были на $\approx 10...12$ % ниже экспериментальных.

На наш взгляд, данное явление обусловлено изменением условий работы предварительно-напряженных арматурных стержней. Фактически концевой участок предварительно-напряженного стержня находится в сталебетонной обойме, которая сдерживает пластические деформации бетона и предотвращает образование радиальных трещин. При этом сталебетонные обоймы верхних стержней одновременно усиливают сжатую зону бетона.

С другой стороны, саму сталебетонную обойму с арматурным стержнем внутри можно рассматривать как единый комплексный арматурный элемент, повышающий несущую способность подрельсового сечения при изгибе. Однако такой подход требует новых самостоятельных исследований, в том числе с использованием физических и численных моделей.

Следует указать, что к настоящему времени шпалы данной конструкции выдержали испытания нагружением, которые произведены в специализированной лаборатории Вильнюсского технического университета, с целью получения сертификата соответствия требованиям европейских норм.

ВЫВОДЫ

1. Прочность (сопротивление действию ударных нагрузок) подрельсовых сечений железобетонных предварительно-напряженных шпал со стержневой арматурой может быть существенно повышена путем установки на продольные стержни специальных спиралей из проволоки класса Вр-I диаметром 3 мм.

2. Представленный способ повышения прочности подрельсовых сечений железобетонных предварительно-напряженных шпал может быть использован и для повышения несущей способности других предварительно-напряженных конструкций, в том числе армированных канатами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шпалы железобетонные предварительно напряженные колеи 1520 мм. Технические условия : ГОСТ 10629-88. — Введ. 01.01.90. — М., 1989. — 21 с.
2. Шпалы железобетонные предварительно напряженные колеи 1520 мм. Технические условия : СТБ 1081- 97. — Введ. 01.01.98. — Минск : Минстройархитектуры, 1999. — 24 с.
3. Шепелевич, Н. И. Экспериментальные исследования трещиностойкости железобетонных шпал со струнным армированием / Н. И. Шепелевич // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / редкол.: М. Ф. Марковский (гл. ред.) [и др.]; РУП «Ин-т БелНИИС». — Минск : Издательский центр БГУ, 2012. — С. 223 — 235.
4. Рахманов, В. А. Экспериментальные исследования железобетонных шпал с различной системой армирования при действии статических и циклических нагрузок / В.А. Рахманов, В. П. Коневский, А. А. Чотчаев, С. В. Герасимович // Совершенствование заводской технологии производства конструкций из спецжелезобетона: сб. тр. под ред. О. И. Крикунова / ВНИИЖелезобетон. — М., 1985. — С. 155 — 164.
5. Железная дорога. Верхнее строение пути. Шпалы и брусья переводные железобетонные. Часть 1. Общие требования : СТБ EN 13230-1-2008. — Введ. 01.07.09. — Минск : Госстандарт, 2008. — 28 с.
6. Бетонные и железобетонные конструкции : СНБ 5.03.01-02. — Введ. 01.07.03. — Минск : Минстройархитектуры, 2003. — 144 с.
7. Железная дорога. Верхнее строение пути. Шпалы и брусья переводные железобетонные. Часть 2. Шпалы моноблочные железобетонные предварительно напряженные : СТБ EN 13230-2-2008. — Введ. 01.07.09. — Минск : Госстандарт, 2008. — 13 с.

REFERENCES

1. *Shpaly zhelezobetonnye predvaritelno napryazhennyye dlya zheleznikh dorog kolei 1520 mm. Tekhnicheskiye usloviya* [Prestressed reinforced concrete sleepers for 1520 mm gauge railways. Specifications]: GOST 10629-88. Vved. 1.09.1990. Moscow, 1989. 21 p. (rus)
2. *Shpaly zhelezobetonnye predvaritelno napryazhennyye kolei 1520 mm. Tekhnicheskiye usloviya* [Prestressed reinforced concrete sleepers for 1520 mm gauge railways. Specifications]: STB 1081-97. Vved. 01.01.1998. Minsk: Ministroyarkhitektury, 1999. 24 p. (rus)
3. Shepelevich N. I. *Ekspperimentalnye issledovaniya treshchinostoykosti zhelezobetonnykh shpal so strunnym armirovaniyem* / N. I. Shepelevich //

- Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: sb. nauch.tr. / R In-t BelNIIS; redkol.: M.F.Markovskiy [i dr.] [Problems of modern concrete and reinforced concrete: collection of scientific papers / Institute BelNIIS]. Minsk: «Izdatelskiy tsentr BGU», 2012. pp. 223-235. (rus)
4. Rakhmanov. V.A., Konevskiy V.P., Chotchaev A.A., Gerasimovich S.V. *Ekspperimentalnye issledovaniya zhelezobetonnykh shpal s razlichnoy sistemoy armirovaniya pri deystvii staticheskikh i tsiklicheskikh nagruzok* // Sovershenstvovaniye zavodskoy tekhnologii proizvodstva konstruktsey iz spetszhelezobetona. Sbornik trudov pod red. O.I. Krikunova [The advancement of industrial production technology of structures made of special reinforced concrete. Collection of scientific papers under the editorship of O. I. Krikunova]. Moscow: «VNIIZHelezobeton». 1985. pp. 155-164. (rus)
 5. *Zheleznaya doroga. Verkhneye stroeniye puti. Shpaly i brusya perevodnyye zhelezobetonnyye. Chast 1. Obshchiye trebovaniya* [Railway application – Track Concrete sleepers and bearers. Part 1: General requirements]: STB EN 13230-1-2008. Vved. 01.07.2009. Minsk: Gosstandart, 2008. 28 p. (rus)
 6. *Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruktсии*. [Plain and reinforced concrete structures]: SNB 5.03.01-02. Vved. 01.07.2009. Minsk: Minstroyarkhitektury, 2003. 144 p. (rus)
 7. *Zheleznaya doroga. Verkhneye stroeniye puti. Shpaly i brusya perevodnyye zhelezobetonnyye. Chast 2. Shpaly monoblochnyye zhelezobetonnyye predvaritelno napryazhennyye* [Railway application. Track. Concrete sleepers and bearers. Part 2. Prestressed monoblock sleepers]: STB EN 13230-2-2008. Vved. 01.07.2009. Minsk: Gosstandart, 2008. 13 p. (rus)

Статья поступила в редколлегию 12.11.2015